

⑤ Int. Cl.
H 01 1 11/14
H 01 1 19/00
H 01 1 3/00

⑥ 日本分類
99(5) E 3
99(5) H 0
99(5) C 23

⑨ 日本国特許庁

⑪ 特許出願公告

昭48-39513

特 許 公 報

④ 公告 昭和48年(1973)11月24日

発明の数 4

(全5頁)

1

④ 半導体装置

① 特 願 昭43-81331

② 出 願 昭43(1968)11月8日

優先権主張 ③ 1967年11月8日 ③ アメリカ国 ④ 681413

⑦ 発 明 者 ジャック・ビッツ・マイズ

アメリカ合衆国テキサス州リチャードソン・ビーチウッド918

同 デリック・コールマン

アメリカ合衆国テキサス州ダラス・マハム・ロード14020

⑧ 出 願 人 テキサス・インストルメンツ・インコーポレーテッド

アメリカ合衆国テキサス州ダラス・セントラルエクスプレッス・ウェイ・ノース13500

⑨ 代 理 人 弁理士 浅村皓 外3名

図面の簡単な説明

第1図はキャリア移動度のデータを集めるために使用した試料の平面図である。第2図はシリコンのいろいろな結晶面に平行に形成されたP形反転層の面内におけるいろいろな方向の、ゲート電圧に関するキャリア移動度を示すグラフである。第3図はMOS形電界効果トランジスタによつて形成された代表的なインバータの回路図である。第4図は第3図のインバータが本発明によつて、集積回路として幾何学的に配置できることを示す簡略化した平面図である。

発明の詳細な説明

本発明は一般的に半導体装置、特に、限定するためではないがMOS形電界効果トランジスタ(MOSFET)などのような反転層を利用する装置を用いる集積回路に関するものである。

MOSFETなどの反転層を利用する装置を用いる集積回路を設計するとき考慮される非常に重要

2

なパラメータの1つはキャリア移動度である。大部分の回路用としては高いキャリア移動度を有することが一般に望ましいが、しかしある用途には低いキャリア移動度を有することが望ましい。良く知られたミラー指数によつて定義されるシリコン結晶のいろいろな結晶面上の反転層におけるキャリア移動度が他の人々によつて研究されてきた。これらの研究の結果として、最高の電子移動度は(100)面に平行に配置された反転層において生じ、最高のホール移動度は(110)面に平行に配置された反転層において生じると信じられた。これらの理由から、殆どどのMOS形電界効果装置は(111)面に平行な向きのシリコン結晶表面に形成されてきた。

我々は、n形シリコンのP形反転層における最大のキャリア移動度は実際には(110)面に存在すること、詳述すれば(110)面に垂直な方向に存在することを発見した。さらに、我々は(110)面に平行な反転層におけるキャリア移動度は方向に依存し、(001)面に垂直な方向において最小値をもち、これは最大キャリア移動度の方向と直角になつてゐることを発見した。現在この事実を完全に確かめるデータが得られていないが、この発見にかんがみて行なわれた理論的解析から、ゲルマニウム、Ⅲ-V化合物半導体、Ⅱ-VI化合物半導体、およびこれら元素の3元の組合わせなど殆んどあらゆる半導体結晶が、反転層内に存在する2次元的な電気伝導が方向依存性を有する結晶面をもつことが予想される。

我々の発見は非常に深い意味を有し、高キャリア移動度が所望されるか、あるいは駆動トランジスタと負荷トランジスタをもつ一般のインバータなどのように、1ケの集積回路に高キャリア移動度と低キャリア移動度の組合わせが所望される反転層を有する電界効果トランジスタの製造に特に有用である。

本発明の特徴であると信じられるこの新規な形

(2)

特公 昭48-39513

3

4

態は後記特許請求の範囲に述べる。本発明の他の目的および利点はもちろん本発明それ自体は図面とともにこの実施例の詳細な説明を参照することによつて十分理解されるであろう。

n形シリコンのいろいろな表面に形成されるP形反転層におけるいろいろな方向のキャリア移動度は、シリコン結晶の選択された表面にホール効果測定用試料の形にMOSトランジスタをつくることによつて決定されてきた。ホール効果測定用試料は第1図に示したように形成され、ソース領域2ドレイン領域4およびホール接点領域6を形成する硼素拡散領域を有する。ゲート領域上の誘電体は950℃で熱的に成長させた2酸化シリコンで、燐がドーブしてある。金属ゲート8は図示した形とゲート接点8aを有する。この装置は幅0.254mm、長さ2.29mmである。厚さの薄い領域9の酸化物の厚さは公称1000Åである。この装置は3-6Vの電圧を有するエンハンスメント・モードの電界効果トランジスタである。移動度の測定は6000 gaussまで磁場の影響を受けないことがわかったが、ホール効果の測定は5000 gaussの磁場を用いて行なつた。ホール移動度測定の精度は±8%と推定され、再現性は非常に良かった。この装置はシリコンの(110)面、(100)面および(111)面のいろいろな方向に形成し、ホール移動度の測定はそれぞれの面で行なつた。

測定したホール移動度 μ_H は次式によつて、第1図に示したホール効果測定用試料のコンダクタンス g_s から導出される伝導度移動度 μ_c に変換される。

$$g_s = \frac{\mu_c \epsilon_{ox} \epsilon_{ow}}{t L} (V_g - V_T - V_d) \dots (1)$$

ここで、

V_g = ゲート電圧

V_T = 閾電圧

V_d = ドレイン電圧

$\epsilon_{ox} \epsilon_o$ = 酸化物の誘電定数

t = 酸化物の厚さ

(110)面、(100)面、および(111)面に形成された反転層で1-10Ω·cmの比抵抗を有する材料の伝導度移動度 μ_c はホール移動度の1.25

±0.05倍であることがわかった。この値は理論値1.13に近い。ソース・ドレイン間の電位差が

電圧以上のゲート電圧と比較して小さくなるように注意したので、反転層に垂直な電界は装置の長さ方向について一様である。

この方法によつて導出した伝導度移動度は第2図に示す。曲線10で示した、(111)面に平行に配置されたホール効果測定用試料の反転層の伝導度移動度は電流の方向とは無関係に適用できる。曲線12で示した、(100)に平行な反転層の伝導度移動度も電流の方向とは無関係である。(110)面に平行に配置された反転層の伝導度移動度は曲線14および16で示す。曲線14は(111)面に垂直な方向の伝導度移動度を示し、曲線16は(100)面に垂直な方向の伝導度移動度を示す。(110)方向の伝導度移動度は(001)面に垂直な方向の伝導度移動度よりも約40%大きいことがわかる。

第2図に示した実験データの異方性は、物質のあらゆる物理的性質は物質の結晶構造と同じ対称性をもつというノイマンの原理を受け入れることによつて予言できる。対称の効果を研究するノイマンの古典的な方法を用いて、結晶の点群を構成する対称演算子を結晶の性質を表わすテンソルに順次適用する。各対称演算子をテンソルに適用した後、テンソルは不変であることが要求される。従つて、物理的性質を表わすテンソルのいろいろな成分の間の関係を支配する一定の条件が出てくる。そして、これらの条件から、一定の対称性をもつ結晶の一定の物理的性質を示す一定の数の消えない互いに独立の定数を残していくつかのテンソルの成分が消える。

表面の反転層に適用される2次元の比抵抗の最も一般的な形を(2)式に示す。

35

$$P = \begin{pmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} \\ \rho_{21} & \rho_{22} \end{pmatrix} \dots \dots (2)$$

もし反転層に異方性のストレスがなければ、比抵抗テンソルは反転層の面において対称性をもつ結晶を有しなければならない。たとえば、シリコンは立方結晶であるから、正方形である(100)面は立方体を通る断面の対称性を有しなければならない。従つて、(100)面の反転層の比抵抗テンソルは、一定の鏡映と90°の回転操作に対して

(3)

特公 昭48-39513

5

不変でなければならない。比抵抗テンソルにこれらの制限を適用すると、比抵抗（およびそれから移動度も）はこの面で等方性でなければならないことが推定される。もしこの方法を（111）面に対して繰り返すならば、結晶の対称性の結果として比抵抗は再び等方性でなければならないことがわかる。（110）面において、主軸として〔011〕方向をとれば、比抵抗テンソルは等方性でない(3)式になることがわかる。

$$P = \begin{pmatrix} \rho_{11} & 0 \\ 0 & \rho_{22} \end{pmatrix} \quad \dots\dots (3)$$

従つて、実験データは現在までシリコンについてだけしか集めていないけれども、異方性の比抵抗はこの理論的な方法を用いて予言でき、そして殆んど任意の半導体において、上述のホール効果測定用試料を用いて測定できる。

多くのMOS トランジスタの用途には、出来る限り高い移動度が反転層に所望される。n形シリコンでは、厚さ100 Å程度の比較的薄いP形反転層によつて表われる実質的に2次元的な電流路に流れる電流は（110）面の〔110〕方向にすべきである。

半導体内のキャリア移動度の方向依存性は、最適動作のためいろいろな回路構成部品が異なつたキャリア移動度を必要とする集積回路に有利に用いることが出来る。1例は、第2図に示した基本的なインバータである。MOS トランジスタQ₁は能動駆動装置であり、MOS トランジスタQ₂は受動負荷装置である。飽和した負荷抵抗で動作させるときの回路の解析は次式で表わされる。

$|V_{in} - V_T| \geq |V_0|$ のとき

$$\begin{aligned} & \frac{\mu_2 \epsilon \epsilon_0 W_2}{2 t_{ox} L_2} [(V_{gg} - V_0) - V_T]^2 \\ & = \frac{\mu_1 \epsilon \epsilon_0 W_1}{2 t_{ox} L_1} [2(V_{in} - V_T)V_0 - V_0^2] \quad (4) \end{aligned}$$

$|V_{in} - V_T| < |V_0|$ のとき

6

$$\begin{aligned} & \frac{\mu_2 \epsilon \epsilon_0 W_2}{2 t_{ox} L_2} [(V_{gg} - V_0) - V_T]^2 \\ & = \frac{\mu_1 \epsilon \epsilon_0 W_1}{2 t_{ox} L_1} (V_{in} - V_T)^2 \quad \dots\dots (5) \end{aligned}$$

ここで、 μ はそれぞれの装置のキャリア移動度、 $\epsilon \epsilon_0$ はゲート酸化物の誘電定数、 t_{ox} はゲート酸化物の厚さ、 W はそれぞれの装置のチャンネルの幅、 L はそれぞれの装置のチャンネルの長さ、そして V_T は閾電圧である。

負荷トランジスタQ₂のインピーダンスは出来るだけ高く、駆動トランジスタQ₁のインピーダンスは出来るだけ低いことがしばしば所望される。キャリア移動度の値 μ_1 および μ_2 は以前は等しいと考えられたので、インピーダンスの比は駆動装置および負荷装置の、チャンネルの幅 W およびチャンネルの長さ L を選定することによつて調整してきた。たとえば、負荷トランジスタQ₂のチャンネルを高インピーダンスにするため、このチャンネルの長さ L_2 を長くしなければならない。逆に、駆動トランジスタQ₂を所望の低インピーダンスにするため、このチャンネルの長さ L_1 を出来るだけ短かくする。

本発明によれば、第2図に示したインバータの構成部分はn形シリコン18の（110）面に第3図で示したように配置され、その結果駆動トランジスタQ₁は最大のキャリア移動度をもち、負荷トランジスタQ₂は最小のキャリア移動度をもつ。駆動トランジスタQ₁は拡散によるソース領域20およびドレイン領域22によつて形成する。比較的厚い2酸化シリコン層24をシリコンスライスの表面に形成する。しかしソース・ドレイン間のチャンネル上には約1000 Åが典型的な薄い2酸化シリコン層の領域26がある。金属膜28は領域28内の薄い酸化物層上に達し、金属ゲートを形成する。金属膜30は2酸化シリコン層24内の開口部を通して拡散ソース領域20と直接オーミックに接触する。負荷トランジスタQ₂は、ドレイン領域22と連続している拡散ソース領域32と、拡散ドレイン領域34、および薄い酸化物層の領域38上に配置された金属ゲート36によつて同様に形成される。金属ゲート36は酸化物

(4)

特公 昭48-39513

7

内の開口部40を通してドレイン領域34に短絡され、 V_{gg} と V_{dd} は同じ値になる。出力電圧 V_o は、酸化物層内の開口部44を通して拡散領域22および32とオートミツクに接触している金属膜42から得られる。

駆動トランジスタ Q_1 のソース領域20およびドレイン領域22は、チャンネルを形成する反転層を流れる電流が $[\bar{1}10]$ 方向になり、しかも $(\bar{1}10)$ 面に垂直な方向になるように配置する。こうすれば、第1図に示したデータからわかるように μ_1 として最大の移動度が得られる。負荷トランジスタ Q_2 のソース領域32およびドレイン領域34は、チャンネルを形成する反転層を流れる電流が、 $[001]$ 方向、すなわち (001) 面に垂直な方向にある駆動トランジスタ Q_1 のチャンネルを流れる電流に対して直角の方向に配置すると、その結果負荷トランジスタ Q_2 のキャリア移動度 μ_2 は最小になる。この方法の結果として、駆動トランジスタのインピーダンスに対する負荷トランジスタのインピーダンスの比は、動作を改善するため一定の幾何学的寸法に対して増加する。あるいは逆に、負荷トランジスタの幾何学的寸法は一定のインピーダンス比に対して減少させることができ、従つて集積回路の面積をかなり節約できる。

半導体内の特定面のキャリア移動度の方向依存性を利用する特殊の例を述べてきたけれども、異なるキャリア移動度を用いることが望ましい回路あるいは副回路にも同様な考えが適用できることがわかる。この設計の可能性は、 $(\bar{1}10)$ 面に垂直な最大値と (001) 面に垂直な最小値との間の方向のキャリア移動度は特定の方法に依存する中間の値があるという事実によつて強められる。従つて、設計者は装置のソース領域およびドレイン領域の適当な幾何学方向だけによつて最大値と最小値の間の殆んど任意のキャリア移動度を選択することが出来る。また、ここで述べた実施例はn形シリコンに形成されたp形反転層であるが、この原理は、キャリア移動度が方向依存性を示すいかなる半導体の任意の面において実質的に2次元的な電気伝導性をもつように振舞ういかなる薄層

8

にも適用することが出来る。

本発明の実施例を詳細に述べてきたけれども、いろいろな変形、置き換え、および交代が、後記特許請求の範囲に定義した本発明の精神および範囲を逸脱することなく行なわれることが理解される。

⑦特許請求の範囲

1 キャリア移動度が方向依存性を示す半導体結晶面にほぼ平行に配置された実質的に二次元的な電気伝導層と、回路素子の伝導路が所定の方向に相互に整列するように前記伝導層上に配向された複数のMOS電界効果型回路素子とを有する半導体装置。

2 キャリア移動度が方向依存性を示す半導体結晶面にほぼ平行に配置された実質的に二次元的な電気伝導層と、回路素子の伝導路が所定の第1の方向に相互に整列するように前記伝導層上に配向された第1の複数のMOS電界効果型回路素子と、回路素子の伝導路が第1の方向とは異なつた所定の第2の方向に相互に整列するように前記伝導層上に配向された第2の複数のMOS電界効果型回路素子とを有する半導体装置。

3 特許請求の範囲第2項に記載された半導体装置であつて、前記第1の複数の回路素子の電流路は最大のキャリア移動度をもつ方向に配置され、前記第2の複数の回路素子の電流路は最小のキャリア移動度をもつ方向に配置されている半導体装置。

4 特許請求の範囲第2項に記載された半導体装置であつて、前記半導体結晶はシリコンウエーハであり、前記伝導層はほぼ (110) 面に平行に配置され、前記第1の複数の回路素子の伝導路は $(\bar{1}10)$ 面にほぼ垂直に配列され、前記第2の複数の回路素子の伝導路は (001) 面にほぼ垂直に配列されている半導体装置。

⑧引用文献

特 公 昭42-21446

特 公 昭42-21976

(5)

特公 昭 48-39513

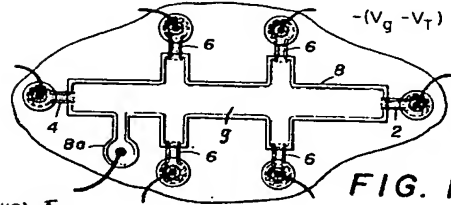
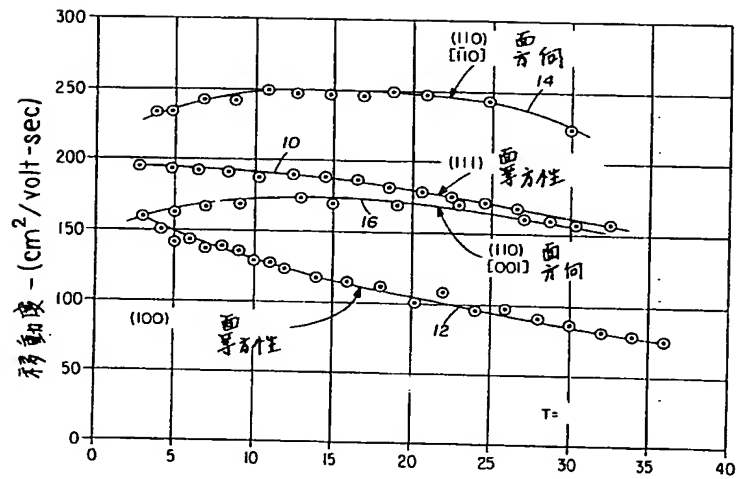


FIG. 2

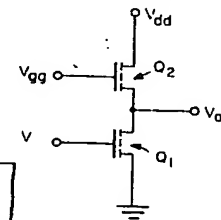


FIG. 3

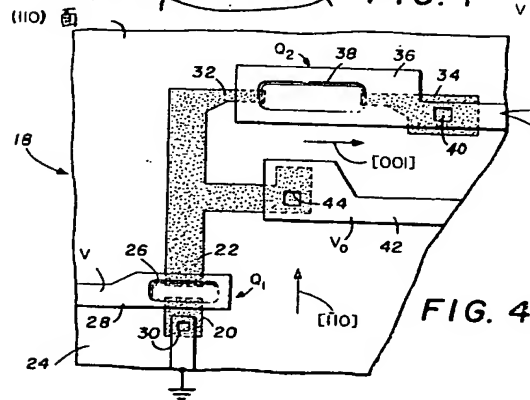


FIG. 4

THIS PAGE BLANK (USPTO)